

文章编号: 1007-4627(2011)01-0068-03

MICROMEAS 探测器初步测试*

鲁辰桂^{1,2}, 段利敏^{1, #}, 杨贺润¹, 马朋^{1,2}, 唐述文^{1,2},

耿朋^{1,2}, 胡荣江¹, 张金霞¹, 李祖玉¹

(1 中国科学院近代物理研究所, 甘肃 兰州 730000;

2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:介绍了一种利用鱼线做放大区间隔的 MICROMEAS 探测器, 灵敏面积为 $50\text{ mm} \times 50\text{ mm}$ 。在 $\text{Ar} + \text{CO}_2(10\%)$ 气体条件下, 利用 ^{55}Fe 源 5.9 keV 的 X 射线对 MICROMEAS 探测器进行了初步测试: 计数率大于 10^3 Hz 的条件下, 计数率坪长达到 280 V ; 当栅极电压在 800 V 时能量分辨为 30% ; 当增益高于 10^4 时打火率低于 10^{-4} ; PCB 板读出条周期为 $400\text{ }\mu\text{m}$ 条件下的位置分辨好于 $120\text{ }\mu\text{m}$ 。结果表明, 研制的 MICROMEAS 探测器达到了初步设计的基本要求。

关键词:计数率坪曲线; 能量分辨; 增益; 打火率; 位置分辨

中图分类号: TL811+.2

文献标识码: A

1 引言

MICROMEAS (Micro-Mesh-Gaseous Structure) 探测器是一种新型的微结构探测器, 它是由 Giomatarisa 等^[1]于 1996 提出来的。MICROMEAS 探测器是一种工作在正比区的平行板探测器, 其结构是由一张蚀刻的网状栅极薄膜将探测器分成不对称的两部分, 间隙较大的区域称为漂移区, 间隙较小的区域称为雪崩放大区。通常漂移区的间距在几个 mm, 电场强度在十几 kV/cm ; 雪崩放大区的间距在 $50\text{--}100\text{ }\mu\text{m}$, 电场强度在几十 kV/cm 。由于其在位置分辨、增益、计数率以及抗打火方面表现出来的优良的特性, 在过去 10 年里人们对 MICROMEAS 探测器作了更加深入的研究, 用金属编织网取代了蚀刻网^[2], 大大降低了探测器成本。近几年来, MICROMEAS 探测器已经应用于 CERN 的 COMPASS^[3] 实验和 CAST^[4] 实验, 取得了良好的结果, 同时对其在中子探测中的应用也进行了探索^[5-6]。

为了满足 HIRFL-CSR 实验需要, 降低探测器成本, 我们设计并初步测试了编织网作为栅极的 MICROMEAS 探测器。

2 探测器的结构和测试条件

测试的 MICROMEAS 探测器是用 635 目的不锈钢丝编织网作为栅极。 $50\text{ mm} \times 50\text{ mm}$ 灵敏面积的印制电路板作为阳极。栅极与漂移电极的间距为 9 mm 。为了初步探索 MICROMEAS 探测器的制作工艺, 减少由编织网布的不平整引起的打火, 加大了雪崩放大区的间隙, 采用直径 $290\text{ }\mu\text{m}$ 的尼龙线按 2 mm 间隔平行排列, 固定在框架上, 夹在栅极与阳极之间作为支撑确保放大区域的间隙。整个探测器放置在气体密封腔中采用常压、流气式工作模式, 工作气体采用 $\text{Ar} + \text{CO}_2(10\%)$ 。实验过程中阳极处于地电位, 栅极和漂移电极加负高压, 利用 ^{55}Fe 的 X 射线源进行测试。

3 测试结果

3.1 计数率坪曲线

为了确定 MICROMEAS 探测器的工作状态, 逐渐增加栅极电压得到计数率坪曲线, 如图 1 所示。在计数率大于 10^3 Hz 的条件下, 计数率坪长达

* 收稿日期: 2010-07-09; 修改日期: 2010-09-16

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10979064); 中国科学院知识创新工程重大项目(KJJCX1-YW-004, YFKJCX3-SYW-N65); 国家重点基础研究发展计划(2008CB817702)

作者简介: 鲁辰桂(1981-), 男(汉族), 甘肃兰州人, 博士研究生, 从事气体探测器研究。

通讯联系人: 段利敏, E-mail: lmduan@impcas.ac.cn

到 280 V。在栅极电压大于 730 V 时由于打火计数率开始下降, 栅极电压从 760 V 增加到 780 V 时计数率下降了 9%。

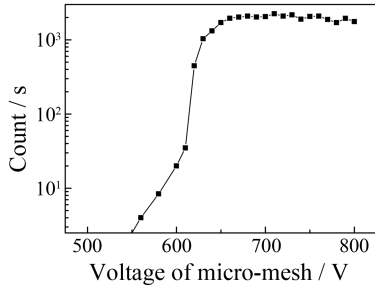


图 1 MICROMEGAS 计数率坪曲线

3.2 能量分辨

好的能量分辨是探测器正常工作的表现。缓慢增加栅极和漂移电极的电压, 当栅极电压处于 700 V, 漂移电极电压超过 700 V 时, 阳极和栅极出现极性相反的信号。当栅极电压加到 800 V 时, ^{55}Fe X 射线源 5.9 keV 全能峰与 Ar 的逃逸峰明显区分开来, 如图 2 所示。此时探测器的能量分辨为 30%。

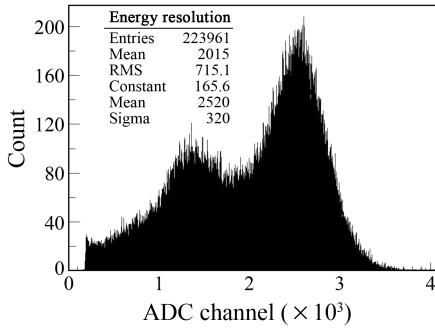


图 2 栅极电压 800 V 时 ^{55}Fe X 放射源能谱

3.3 增益和打火率

高增益和低打火率是微结构探测器发展的趋势。气体的增益 $gain$ 是阳极收集到的总电荷数 n 与原初电离的总电荷数 n_0 之比, 通常用第一 Townsend 系数 α 来描述:

$$\begin{aligned} gain &= \frac{n}{n_0} = \exp \int_{x_1}^{x_2} \alpha dx \\ &= \exp \int_{x_1}^{x_2} A p \exp \left(-\frac{Bpd}{V} \right) dx, \quad (1) \end{aligned}$$

其中, A 和 B 是实验值, p 是探测器工作气压, d 是放大区间隙, V 是栅极电压。测试中, 统计 ADC 高道的超界信号, 由于这些信号远大于 ^{55}Fe 的 X 射

线全能峰所对应的 ADC 道数, 认为是打火信号。图 3 给出了 MICROMEGAS 探测器在计数率坪区的增益和打火率随栅极电压变化关系。实验发现, 当探测器的增益达到 6.7×10^4 时打火率小于 5×10^{-4} , 此时的栅极电压为 830 V。

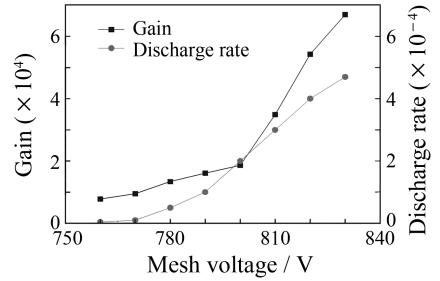


图 3 增益和打火率随栅极电压的变化关系

探测器增益的一致性直接影响探测器的位置分辨和工作的稳定性。测试中采用了 4 块面积相同的电极作为阳极, 图 4 给出了栅极电压在 -795 V 时阳极 4 块区域所对应的增益。由式(1)可知, 增益的一致性取决于雪崩放大区间隙的一致性, 该一致性主要由 3 方面的因素决定: (1) 栅极微网电极的平整度; (2) 支撑的尼龙线直径公差; (3) 栅极和阳极基板曲翘。为了得到整个灵敏面积上均匀一致的增益就需要改进工艺调整探测器的组装结构。

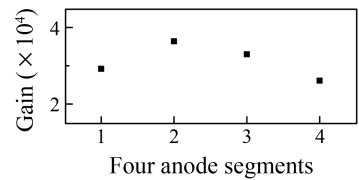


图 4 当栅极加 -795 V 高压时阳极的 4 块不同区域分别得到的增益

3.4 位置分辨

将阳极读出电极更换成一维条状电极。电极宽度 $320 \mu\text{m}$, 条与条中心间距 $400 \mu\text{m}$ 。将周期 2.1 mm, 缝宽 $100 \mu\text{m}$ 厚 1 cm 的狭缝光阑平行于读出电极放置。探测器信号读出的前端电子学采用 SFE16^[7], 数据获取采用 HPTDC。触发事件在阳极条上的多重性分布如图 5(a)所示, 绝大多数入射粒子能量沉积在一条电极上。图 5(b)描述触发事件在阳极条上感应信号的重心分布。认为事件在阳极条上是均匀分布的, 那么位置分辨 $\sigma = W_{\text{条宽}} / \sqrt{12}$ 。对于 $400 \mu\text{m}$ 周期的读出电极, MICROMEGAS 探

测器的位置分辨好于 $116 \mu\text{m}$ 。

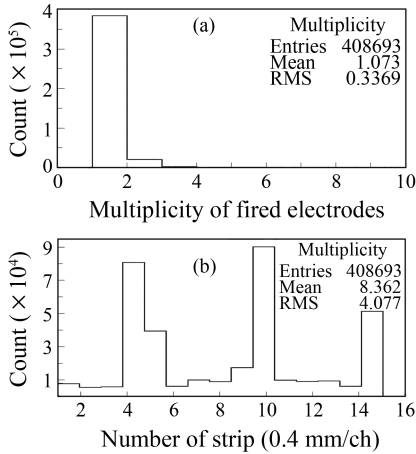


图 5 (a) 触发事件的多重性分布, (b) MICROME GAS 探测器位置分辨

4 结论

对 MICROME GAS 探测器的初步测试表明, 该探测器计数率大于 10^3 Hz 下计数率坪长约 280 V。增益在 10^4 下能量分辨达到 30%, 随着栅极电压的增高气体的有效增益可达到 6.7×10^4 , 打火率小于 5×10^{-4} 。在中心间距 $400 \mu\text{m}$ 的读出电极上

位置分辨好于 $116 \mu\text{m}$ 。为得到更好的性能选择, 需要更为平整的栅极薄膜和合适宽度的读出电极。

参考文献 (References):

- [1] Giomataris Y, Rebourgeard P h, Robert J P, *et al*, Nucl Instr and Meth, 1996, **A376**: 29.
- [2] Giomataris I, De Oliveira R, Andriamonje S, *et al*, Nucl Instr and Meth, 2006, **A560**: 405.
- [3] Thers D, Abbon Ph, Ball J, *et al*, Nucl Instr and Meth, 2001, **A469**: 133.
- [4] Aune S, Braüninger H, Dafni T, *et al*, Nucl Instr and Meth, 2009, **A604**: 15.
- [5] Zhou Jianrong, Zhang Yi, Wang Shanshan, *et al*. Nuclear Physics Review, 2009, **26**(4): 322(in Chinese). (周健荣, 张毅, 汪珊珊, 等. 原子核物理评论, 2009, **26**(4): 322.)
- [6] Wei Zheng, Li Haoxiang, Zhang Yi, *et al*. Nuclear Physics Review, 2010, **27**(3): 291(in Chinese). (韦峥, 李昊翔, 张毅, 等. 原子核物理评论, 2010, **27**(3): 291.)
- [7] Delagnes E, Abbon P, Bedfer Y, *et al*, IEEE Trans Nucl Sci, 2000, **NS-47**: 1447.

Preliminary Test of MICROME GAS Gaseous Detector^{*}

LU Chen-gui^{1, 2}, DUAN Li-min^{1, #}, YANG He-run¹, MA Peng^{1, 2}, TANG Shu-wen^{1, 2}, GENG Peng^{1, 2},

HU Rong-jiang¹, ZHANG Jin-xia¹, LI Zu-yu¹

(1 *Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China*;

2 *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

Abstract: In this paper, A MICROME GAS (Micro-Mesh-Gaseous Structure) detector with the amplification gap defined by stretching nylon fishing lines has been described. And its count plateau, gas gain and energy resolution in the condition of a ^{55}Fe X-ray source and Ar-CO₂ (10%) mixture gases are measured as functions of mesh voltage. The count plateau approaches 280 V at the count rate of 10^3 Hz . The discharge rate is less than 10^{-4} when the gas gain is up to 10^4 . The energy resolution is 30% (FWHM) based on -800 V mesh voltage. The position resolution is less than $120 \mu\text{m}$ at the condition of the sensitive area ($50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$) Printed Circuit Boards (PCB) and its strip pitch of $400 \mu\text{m}$. The results can satisfy the basic demand of MICROME GAS detector preliminary design.

Key words: counting plateau; energy resolution; gas gain; discharge rate; position resolution

* Received date: 9 Jul. 2010; Revised date: 16 Sep. 2010

Foundation item: National Natural Science Foundation of China(10979064); Knowledge Innovation Project of Chinese Academy of Sciences (KJCX1-YW-004, YFKJCX3-SYW-No5); Major State Basic Research Development Program of China (2008CB817702)

Corresponding author: Duan Li-min, E-mail: lmduan@impcas.ac.cn